

中国地级以上城市工业能源消费的增长 ——基于2001~2006年的数据分解

洪丽璇^{1,2}, 梁进社^{2*}, 蔡建明³, 庄立²

(1. 奥尔堡大学发展与规划系, 丹麦 奥尔堡 9220; 2. 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875;
3. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 城市是能源消费的集中地区, 能源影响和制约城市发展水平和速度。目前工业能耗占中国能源消费的70%左右。本文利用一种简单易行的能源分解方法, 对99个地级以上城市在2001~2006年间工业能源消费变化量进行分解。结果表明, 这一时期中国重工业化程度的加深导致新一轮的工业能源消费的高速增长。经济规模扩大是导致城市工业能源消费增长的主导因素, 技术进步是抑制能源消费增长的重要手段, 结构效应表现不显著。20~50万人口规模的城市具有最显著的结构效应、技术效应和规模效应。超过这一人口规模范围的城市, 其结构效应和技术效应的节能作用随着偏离20~50万人口规模程度的增加而减弱。对超大规模城市而言, 人口和工业经济扩张不一定导致工业能源消费持续增长和低效的能源利用, 发挥技术节能潜力是关键。

关键词: 城市; 工业能源消费; 分解

文章编号: 1000-0585(2011)01-0083-11

1 引言

城市是社会生产力高度集聚的一种空间组合形态, 是人口和产业集中的地区, 自然也是能源消费的中心。随着中国经济的高速增长、工业化和城市化进程的推进, 作为经济活动基础的能源消费大幅度增长。2001年, 中国的能源消费量占世界的10%, 成为世界第二能源消费大国。根据国际货币基金组织(IMF)和BP世界能源统计, 2008年, 中国GDP总量仅占世界经济总量的8%, 但消费3.75亿吨石油、14.06亿吨油当量原煤、0.73亿吨油当量天然气, 分别为全球消费量的9.6%、42.6%和2.7%。可见, 中国经济高速增长的奇迹是以大量消费能源为代价换来的。能源影响和制约了城市发展的水平和速度, 决定了城市发展的方向和趋势。当今世界, 几乎所有发达国家的城市, 以及中国的很多城市, 其都市生活都严重依赖石油、煤炭、天然气和电力的大量消费。风能、潮汐能、水能和太阳能等可再生能源, 在目前阶段只能供给整个能源需求中的很小部分, 估计为20~30%^[1]。不难预料, 严峻的资源限制和高昂的能源价格会使很多城市举步维艰。另一方面, 由于大量消费化石燃料, 城市大气环境污染问题也日益严重。美国世界观察研究所

收稿日期: 2009-12-03; 修订日期: 2010-05-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40535026)

作者简介: 洪丽璇(1986-), 女, 重庆人, 博士生, 主要从事可持续能源规划和经济地理学的研究。

E-mail: lixuan@plan.aau.dk

* 通讯作者: 梁进社(1957-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事经济地理学、自然资源与环境经济学的教学与研究。E-mail: liangjs@bnu.edu.cn.

的一份研究报告显示,全世界 20 个空气污染最严重的城市中,中国城市占了 16 个。这些污染不仅损害公众健康,而且所带来的经济损失也非常之大。国内外研究机构的研究显示,大气污染造成的经济损失占 GDP 的 3~7%^[2]。因此,以城市为载体研究能源消费和能源利用效率问题,对于推行节约型城市战略具有重要意义。

国内学者从中国城市能源消费特点、城市能源战略、城市规划、城市能源安全和城市环境等角度研究城市能源问题^[3~8]。国外学者尤其关注城市形态和能源消费的关系。“紧凑城市”的提倡者们认为高人口密度有利于减少人们对私人汽车的依赖,从而达到减少交通能源消费的目的^[9];但是 Mindali 等利用统计数据得出结论,认为城市密度和交通能源消费并没有显著相关性^[10]。Mogridge 通过比较巴黎和伦敦的相关变量发现人口密度和公共交通供应对能源消费的影响远不如私人汽车拥有量显著^[11]。Holden 探讨了城市规划和家庭能源消费间的关系,结论显示分散型集中即发展高密度的小城市利于节能^[12]。还有部分学者从城市生态和环境的角度来研究能源消费问题,包括城市热岛效应、全球变暖、经济发展与能源消费的关系等^[13~15]。可再生能源与城市发展的关系也引起学者们的重视^[16]。目前城市能源消费的研究仍存在若干空白,城市工业能源消费问题就是其中之一。和城市工业能源消费相比,西方学者更关注城市交通能耗和生活能耗。随着中国城市化水平的提高,城市交通能耗、建筑能耗和居民生活能耗大幅度增长,这也引起国内学者的关注。但是,中国的城市 and 经济发展阶段与西方发达国家存在很大差异。中国大多数城市仍处于工业化初中级阶段,工业是城市经济的支柱,也是最大的能耗部门。因此,研究城市工业能源消费对全面认识城市能源消费问题有着重要作用。本文试图利用一种能源分解方法^[17~28]对中国地级以上城市工业能源消费的增长进行分析,研究产业结构变动、技术进步和经济增长对城市工业能源消费的影响,揭示不同人口规模城市工业能源消费的差异,从能源消费这一侧面来加深对城市发展方针的认识。

2 资料来源与研究方法

2.1 数据来源和整理

《中国城市统计年鉴 2007》列出地级以上城市总计 287 个。鉴于能源分解方法对数据要求较高,具体到每一个城市工业分行业增加值和能源消费量,本文最终搜集到 99 个地级以上城市资料。数据选择的原则有两条:(1) 凡是统计资料能支撑本文计算的城市,均纳入样本。(2) 在保证样本丰富的前提下,尽可能选择最近年份,拟定为 2001~2006 年。本文数据主要来源于 2002 年和 2007 年各城市统计年鉴。由于各城市统计标准差异、统计制度变化等因素影响,27 个样本城市资料无法统一到 2001 年和 2006 年,采用邻近年份数据进行代替。能源单位为“ 10^4 t 标准煤”,单位产出能耗以“t 标准煤/ 10^4 元产值”表示。

为了使统计年鉴数据符合计算要求,各城市计算结果具有可比性,数据整理包括三方面内容:第一,根据中国工业统计年鉴上提供的各省换算系数,将各年份现价分行业增加值换算为 1990 年不变价增加值。第二,部分城市按不同能源品种统计工业各行业能源消费量,采纳能源统计制度中规定的折算系数进行换算。第三,建立统一的工业部门分类标准,最终确定采掘业、食品工业、纺织及服装制造业、木材及造纸制造业、文教体育用品制造业、石油加工及炼焦业、化学及医药工业、非金属矿物制品业、金属冶炼和金属制品业、机械电气电子设备制造业、其他制造业、电力蒸汽热水生产和供应业这十二个部门。

2.2 分解方法

设 Y_t 为 t 时期的 GDP, Y_0 为 0 时期的 GDP。 A_t 为 t 时期部门产出比重行向量, 其中的每一个元素分别表示各部门的增加值占 GDP 的比重, 这些元素之和为 1。 B_t 为 t 时期部门单位产出能耗列向量, 其中的每一个元素分别表示各部门的单位增加值所消费的能源量。 A_0 为 0 时期部门产出比重行向量, B_0 为 0 时期部门单位产出能耗列向量。

每一部门能源消费增长量等于该部门增加值与单位产出能耗的乘积, 将各部门能源消费量加和, 得到总的能源消费增长量, 用数学符号表达为 $A_t B_t Y_t - A_0 B_0 Y_0$ 。通过数学手段, 可以对 $A_t B_t Y_t - A_0 B_0 Y_0$ 进行如下分解, 即:

$$A_t B_t Y_t - A_0 B_0 Y_0 = (A_t - A_0) B_t Y_t + A_0 (B_t - B_0) Y_t + A_0 B_0 (Y_t - Y_0) \quad (1)$$

其中 $(A_t - A_0)$ 反映各部门产业比重的变化情况, $(A_t - A_0) Y_t$ 反映各部门增加值的变化情况, 因此 $(A_t - A_0) B_t Y_t$ 表示由于各部门产业比重的变化而导致的能源消费量的变化, 被称为结构效应; $(B_t - B_0)$ 反映各部门单位产出能耗的变化情况, $A_0 Y_t$ 是按照 0 时期的部门产业比重计算出的 t 时期各部门增加值, 所以 $A_0 (B_t - B_0) Y_t$ 表示排除产业结构变化的影响, 单纯由于技术进步而导致的能源消费量的变化, 被称为技术效应; $(Y_t - Y_0)$ 反映 0 到 t 时期 GDP 的变化情况, $A_0 B_0 (Y_t - Y_0)$ 表示排除产业结构变化和技术进步的影响, 单纯由于经济规模扩大而导致的能源消费量的变化, 被称为规模效应。另外, 还有一种分解方式, 如下:

$$A_t B_t Y_t - A_0 B_0 Y_0 = (A_t - A_0) B_0 Y_t + A_t (B_t - B_0) Y_t + A_0 B_0 (Y_t - Y_0) \quad (2)$$

和前面类似, $(A_t - A_0) B_0 Y_t$ 是结构效应, 表示排除技术进步的影响, 单纯由于各部门产业比重的变化而导致的能源消费量的变化; $A_t (B_t - B_0) Y_t$ 是技术效应, 表示由于技术进步而导致的能源消费量的变化; $A_0 B_0 (Y_t - Y_0)$ 是规模效应, 表示排除产业结构变化和技术进步的影响, 单纯由于经济规模扩大而导致的能源消费量的变化。

将式 (1) 和式 (2) 结合, 即得:

$$A_t B_t Y_t - A_0 B_0 Y_0 = 0.5(A_t - A_0)(B_0 + B_t)Y_t + 0.5(A_t + A_0)(B_t - B_0)Y_t + A_0 B_0 (Y_t - Y_0) \quad (3)$$

式 (3) 是前两种状态的平均, 弥补了各自的不足。 $0.5(A_t - A_0)(B_0 + B_t)Y_t$ 表示在取 0 和 t 时期各部门单位产出能耗的平均值的情况下 (即对技术水平平均的情况下), 由于产业结构变化而导致能源消费量的变化; $0.5(A_t + A_0)(B_t - B_0)Y_t$ 表示在取 0 和 t 时期各部门产业比重平均值的情况下, 由于技术进步而导致能源消费量的变化; $A_0 B_0 (Y_t - Y_0)$ 的意义和前面相同, 表示排除产业结构变化和技术进步的影响, 单纯由于经济规模扩大而导致的能源消费量的变化。

如果取 2001、2006 两年进行工业能源消费的分解分析, A_{2001} 为 2001 年工业各部门增加值除以工业增加值得到的比重行向量; B_{2001} 为 2001 年工业各部门能源消费量除以工业各部门增加值得到的单位产出能耗列向量; A_{2006} 为 2006 年工业各部门增加值除以工业增加值得到的比重行向量; B_{2006} 为 2006 年工业各部门能源消费量除以工业各部门增加值得到的单位产出能耗列向量; Y_{2001} 、 Y_{2006} 分别为 2001 年、2006 年工业增加值。

令: $\Delta E_{tot} = A_t B_t Y_t - A_0 B_0 Y_0$, $\Delta E_{sr} = (A_t - A_0)(B_0 + B_t)Y_t/2$, $\Delta E_{tec} = (A_t + A_0)(B_t - B_0)Y_t/2$, $\Delta E_{sca} = A_0 B_0 (Y_t - Y_0)$, 任何两个时期能源消费的变化量可以分解为结构效应、技术效应和规模增长效应:

$$\Delta E_{tot} = \Delta E_{sr} + \Delta E_{tec} + \Delta E_{sca} \quad (4)$$

基于这个分解的区域比较也可以进行。

3 工业部门主导能源消费

终端能源消费可以分为农业部门、工业部门、建筑业部门、交通部门、商业及其他部门和居民部门。1980~2006年,中国工业部门的能源消费占全部能源消费的比例一直维持在70%左右,这与发达国家相比有很大差别。在丹麦,工业部门能源消费所占的比例仅占18%左右;西欧国家如法国和德国,这一比例约为30%。美国工业部门的能源消费比重,大致是25%。东欧国家如波兰和亚洲的日本、韩国等地工业部门的能源消费比重稍高于北欧、西欧和美国,但最多也在50%以下。发达国家的民生部门和交通部门的能耗构成比例在50%~70%^[29]。以上说明,中国仍处于以工业为中心的工业化阶段。

从中国1980~2006年的分部门的终端能源消费推移可以看出(图1),农业部门和建筑业部门能源消费变化量不大,其余部门能源消费量均有不同程度的增长。尤其是工业部门,其能源消费量和增长率明显领先于其他部门。根据经济发展的阶段来考察工业部门、交通部门、商业及其他部门和居民部门的能源消费增长,可以看出具有一定规律性。具体而言,在经济发展的初期,工业化进程使工业部门的能源消费猛增;由于工业活动的扩大,以货物运输为中心的交通部门的能源消费量开始增长。同时,频繁的商业活动和旅游需要,使以旅客运输为中心的客运部门的能源消费也在持续增长。随着工业化带来的国民生活水平的提高,人们对商业及其他服务业的需求增大,导致以家庭为中心的民生用能源消费也随之增加。也就是说脱出工业化、服务经济化转移的倾向^[30]。但现阶段,中国能源消费总量的变化趋势很大程度上仍由工业能源消费量的走向决定。

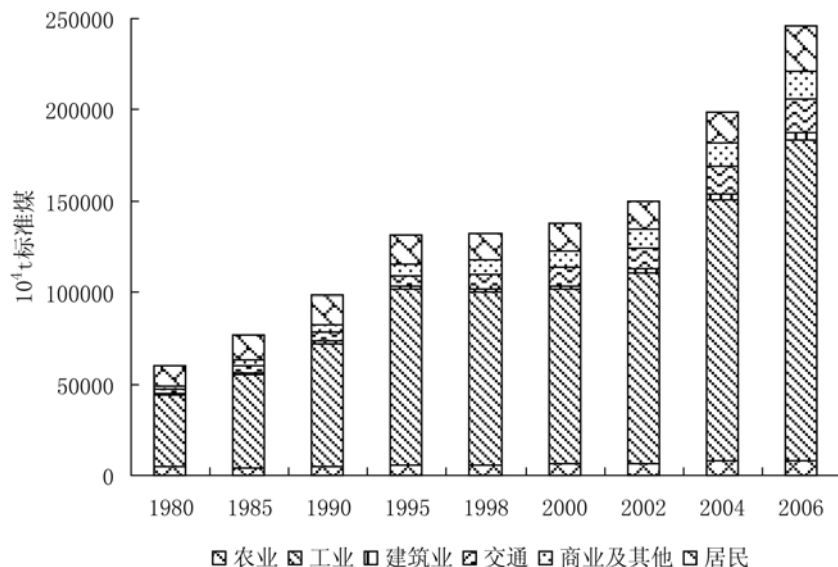


图1 中国分部门终端能源消费的推移 (1980~2006)

Fig. 1 Final energy consumption of sub-sectors in China (1980—2006)

注: 数据来源于1981年、1986年、1991年、1996年、1999年、2001年、2003年、2005年和2007年《中国能源统计年鉴》。

在工业部门中,能源消费较多的产业是冶金工业、化学工业和建材工业等原材料部门。1985年,上述三个部门的能源消费量占工业能源消费的56.4%,之后大体上维持在

56%左右, 2006 年甚至达到 59.4%。冶金部门的能耗比例上升最为迅猛, 在 1985~2006 年间增加 11.8 个百分点, 能源消费量达到 $54022 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤, 成为最大能耗部门。石油制品和电力蒸汽热水部门的能源消费量也大幅度增长, 二十年来其能源消费占工业能源消费的比例翻了近 1 倍。其他产业部门中, 采掘业、食品工业、建材工业以及机械工业这四个部门的能源消费比例从 1985 年的 41.9% 下降为 2006 年的 26.8%。中国工业从以原材料采掘为主的初级阶段往深加工方向发展, 重工业化程度得到加强。

4 不同人口规模城市工业能源消费的分解

依照前文所述的数据整理方法和分解公式, 对搜集的 99 个样本城市 2001~2006 年工业能源消费增长量进行分解, 结果见表 1。结构效应是指产业结构调整导致的能源消费量的变化; 技术效应是指部门能耗强度变化导致的能源消费量的变化; 规模效应是指经济总量增长导致的能源消费量的增长。产业结构调整 and 部门能耗强度变化可能导致能源消费量增加或者减少, 所以分解得出的结构效应和技术效应值有正负之分。而中国城市经济规模不断扩大, 导致能源消费量增加, 所得到的规模效应是正值。背后隐含的事实是, 现阶段中国能源消费总量增长和 GDP 增长呈现正相关^[26]。分解出的三种效应与对应时间段里 (2001~2006 年) 工业能源消费变化量的百分比被称为贡献率。符号为正, 表示该效应对增加工业能源消费的贡献率; 符号为负, 表示该效应的节能贡献率。为分析不同人口规模城市工业能源消费特点, 首先对 99 个样本城市进行人口规模划分。目前中国尚无较好反映城市规模的地域概念和统计标准, 国内城市研究大多采用市区非农业人口进行城市规模划分^[31]。我国城市可分为超大城市 (大于 200 万)、特大城市 (100~200 万)、大城市 (50~100 万)、中等城市 (20~50 万) 和小城市 (20 万以下)^[32]。

2006 年, 20~50 万规模城市平均工业能源消费量最小, 100~200 万规模城市平均消费量达到 $2097 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤, 后者消费量约为前者的 4.4 倍 (表 2)。与 2001 年相比, 2006 年特大规模城市工业能源消费量翻了一番, 其增长量分别是超大城市、大城市、中等城市和小城市的 1.8 倍, 4.1 倍, 4.0 倍和 2.7 倍。通过分解不同规模城市 2001~2006 年工业能源消费变化量发现, 经济增长引致的规模效应是各级城市工业能源消费量增长的主要原因。技术效应是抑制工业能源消费增长的重要原因, 但各级城市技术节能效果存在明显差异。20 万人口规模以下城市技术节能效果最差, 20~50 万人口规模城市通过技术效应有效地抑制工业能耗增长, 但随着人口规模的扩大, 技术效应的节能贡献率降低。与规模效应和技术效应相比, 结构效应对各级城市工业能源消费量变化的影响较小。但是, 20~50 万人口规模城市通过产业结构调整有效地减少工业能源消费量, 其结构效应对节能的贡献率达到 206%。特大城市、超大城市和中等城市通过工业结构调整降低能耗, 而大城市和小城市工业结构有增加能耗的趋势。采用能耗强度这一指标衡量, 超大城市工业能源利用效率最高, 其单位产值能耗仅为 2.02t 标准煤/ 10^4 元。50~100 万规模城市能源利用效率最低, 每万元工业增加值消耗 5.67t 标准煤。总体而言, 200 万以上规模超大城市具有较高能源利用效率, 20~50 万规模中等城市的结构效应和技术效应节能贡献率最突出。值得注意的是, 不能忽略城市之间的个体差异, 即使是同一规模组城市的工业能源效率也存在很大区别。

超大规模城市组中, 各城市工业能耗强度均较低, 即具有较高的能源利用效率。2001~2006 年, 平均能源消费增长量约为 $586 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤, 结构效应、技术效应和规模效应

表 1 99 个样本城市工业能源消费的分解 (2001~2006)

Tab. 1 Decomposition of industrial energy consumption in 99 sample cities (2001—2006)

城市	结构 效应	技术 效应	规模 效应	城市	结构 效应	技术 效应	规模 效应	城市	结构 效应	技术 效应	规模 效应
包头市	-253	-1576	3505	开封市	-314	-31	391	石家庄市	-12	-643	-468
北京市	222	-2302	2485	昆明市	584	-17078	17154	双鸭山市	-545	-1589	2257
长春市	-537	-1144	1640	来宾市	-66	16	514	苏州市	-4093	-20942	26633
长沙市	240	-645	694	莱芜市	24	1767	301	四平市	3292	-5457	2640
常德市	-6	-443	595	临沂市	279	-1640	2027	台州市	-567	-571	1152
赤峰市	-458	-2948	3290	龙岩市	-124	-322	781	泰安市	224	-4196	4077
滁州市	-64	-986	1122	娄底市	375	-2573	2193	唐山市	147	2616	816
东营市	-501	-2953	4920	泸州市	472	-751	628	天津市	576	-3559	4003
鄂尔多斯市	582	-971	1592	洛阳市	239	-86	1001	通辽市	-734	-869	1725
鄂州市	21	-23	168	马鞍山市	-49	-1328	1847	铜陵市	-6925	-26923	33958
防城港市	52	-61	81	茂名市	-47	-81	522	潍坊市	-87	854	-185
佛山市	-49	-2553	3182	绵阳市	233	-147	303	温州市	69	-419	558
福州市	-10	551	488	牡丹江市	839	-772	98	无锡市	-1260	-1450	3935
广州市	-136	-2152	2678	南昌市	3	-542	815	武威市	-157	-292	471
贵阳市	-155	-1473	1428	南京市	-1252	-816	2805	咸阳市	135	-90	510
哈尔滨	-95	308	267	南宁市	11	-274	334	湘潭市	-472	-163	1201
海口市	4	28	7	南平市	-21	-328	382	孝感市	-132	-169	448
邯郸市	805	-4254	6517	南通市	-997	-1023	2127	新乡市	-213	-454	1174
亳州市	26	-73	105	宁波市	-3196	-952	6371	信阳市	-165	-269	662
合肥市	-732	-11454	12458	攀枝花市	316	-1804	2227	徐州市	-544	-431	1829
衡水市	-304	-348	694	平顶山市	1251	-7208	4895	烟台市	-2292	-7824	11182
衡阳市	-155	-394	843	莆田市	-321	-36	424	盐城市	-335	172	579
呼伦贝尔市	-259	-150	765	秦皇岛市	-126	635	57	宜宾市	-83	-254	715
惠州市	105	331	-117	青岛市	1822	-4141	3517	宜春市	-418	-29	881
吉安市	-96	-5440	5700	日照市	-435	-350	1147	肇庆市	19	57	12
济南市	-57	-666	1436	三门峡市	-67	-726	980	镇江市	-163	-1446	1625
济宁市	-1456	-10327	10428	三明市	-277	-4088	4351	郑州市	-222	-1736	3362
嘉兴市	401	-289	1185	三亚市	206	-239	37	重庆市	12	-1968	3080
嘉峪关市	-32566	17598	16056	商丘市	640	-2935	2044	舟山市	5	-243	285
江门市	342	-19	385	上饶市	-104	-168	379	珠海市	-44	-80	244
晋城市	-5360	-24064	30845	韶关市	-288	-253	799	资阳市	-54	-892	1075
荆州市	12	-100	102	邵阳市	1	-286	345	自贡市	-82	-531	693
九江市	-930	966	1069	沈阳市	-1087	-1052	3052	遵义市	109	-524	594

的贡献率分别是-24%、-290%和415%。其中,石家庄和长春甚至出现工业能源消费负增长,但两者的节能机制有着本质的区别。前者主要是由于工业增加值的负增长导致对工业能源需求量的减少,换言之,工业能源消费量的减少是以牺牲工业经济的代价换来的。这种方式不能被称为主动意义上的“节能”,不值得提倡。与石家庄恰好相反,长春

的工业经济快速发展带动能源消费量的增长，但是其通过对产业结构的有效调整和技术进步取得很好的节能效果。在超大城市中，长春、沈阳、南京和无锡双管齐下的节能效果十分显著，同时也是所有超大城市中结构节能效应最有效的。其余城市大多数仅在技术效应的节能层面表现较好。例如北京、天津、青岛、广州、佛山和重庆，主要是通过技术进步来抑制其工业能源消费的增长。总的来说，工业经济的发展和规模的扩大是导致超大城市工业能源消费增长的主导因素，技术进步在很大程度上起到节能的作用；除个别城市外，超大城市的产业结构调整并未起到节能的作用。

表 2 样本中不同人口规模城市工业能源消费指数（2001~2006）

Tab. 2 Indices of industrial energy consumption in sample cities of different population sizes (2001—2006)

指标	超大城市 (>200 万)	特大城市 (100~200 万)	大城市 (50~100 万)	中等城市 (20~50 万)	小城市 (<20 万)
2006 年工业能源消费量 (10 ⁴ t 标准煤)	1943	2097	838	478	482
2006 年工业能耗强度 (t 标准煤/10 ⁴ 元)	2.02	4.34	5.67	4.78	4.11
2001~2006 年工业能耗增长量 (10 ⁴ t 标准煤)	586	1056	258	264	385
2001~2006 年结构效应 (10 ⁴ t 标准煤)	-143	-439	19	-544	108
结构效应贡献率 (%)	-24	-42	7	-206	28
2001~2006 年技术效应 (10 ⁴ t 标准煤)	-1703	-3375	-1499	-2326	-396
技术效应贡献率 (%)	-290	-320	-582	-881	-103
2001~2006 年规模效应 (10 ⁴ t 标准煤)	2432	4870	1738	3133	674
规模效应贡献率 (%)	412	461	675	1187	175

特大城市能源消费量平均增长约 $1056 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤，结构效应、技术效应和规模效应的贡献率分别是 -42%、-320% 和 461%。不同城市能源利用效率表现出明显差异，邯郸、唐山和包头等城市工业能耗突破 8 t 标准煤/ 10^4 元，而苏州工业能耗强度仅为 0.30 t 标准煤/ 10^4 元。2001~2006 年，苏州工业经济增长的势头迅猛，规模效应导致工业能源消费增长高达 $26633 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤。另一方面，其技术效应也表现出惊人的成绩，通过技术进步节约 $14324 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤，说明苏州工业管理水平、技术创新程度等方面进步的速度和经济规模扩张的速度是相适应的。但大多数城市的结构效应和技术效应表现出不理想的局面，最典型的例子是惠州。惠州工业经济负增长导致工业能源消费量减少，但产业结构调整和技术效应反而导致工业能源消费量增长。产业结构不合理与技术落后很可能正是惠州工业经济发展停滞的重要原因。2001~2006 年，特大城市工业经济发展导致能源消费量急剧增长，但大多数城市产业结构调整和技术进步力度不能与之适应，导致城市工业能源利用效率低下。

样本城市中，属于 50~100 万和 20~50 万的大中城市合计 60 个。通过分解这 60 个样本城市 2001~2006 年工业能源消费的变化量，结构效应、技术效应和规模效应的均值分别是 $-253 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤， $-1899 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤和 $2412 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤。三个效应的贡献率达到 -97%，-729% 和 926%。整体而言，大中城市的结构效应和技术效应均有效地抑制了由规模效应导致的工业能源消费量的增长。其中，济宁和平顶山 2001~2006 年工业能源消费的增长量分别是 $-1355 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤和 $-1062 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤，但导致这两个城市工业能源消费负增长的原因不完全相同。济宁由于工业经济规模扩大而导致能源消费

的增长量高达 $10428 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤,但其通过产业结构调整和技术进步节约 $11783 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤,结构效应和技术效应的节能贡献率分别是 107% 和 762%。而平顶山的节能则完全是通过技术进步实现的。另外,晋城和铜陵这类资源型城市的规模效应非常惊人,均突破 $30000 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤。令人欣慰的是,二者有意识地向职能多样化城市转型^[33]、促进技术与经济发展配套,技术效应十分有效地抑制能源消费的增长。总的说来,大中型城市工业能源消费的规模效应巨大,技术效应和结构效应起到很好的节能效果。

由于统计资料的限制,本文搜集到可用于分解计算的 20 万人口以下的小城市总计 6 个。小城市之间的经济指标和工业能源消费量的差异巨大。例如,2006 年鄂尔多斯和嘉峪关人均 GDP 均达到 5 万元以上,高于许多超大特大城市的经济发展水平,但亳州的人均 GDP 却仅相当于它们的 10%。嘉峪关与防城港相比,前者的工业能源消费量是后者的 21 倍。从工业能源消费的分解来看,结构效应、技术效应和规模效应的贡献率分别是 28%, -103% 和 175%。可见,小城市工业经济的发展相对缓慢,没有大规模地带动能源消费量的增长。与此同时,技术效应并不理想,说明小城市技术发展速度不能适应经济增长速度。另外,工业结构调整也未能实现能耗的降低,反而导致其升高。总的说来,小城市的工业经济发展速度缓慢,能源利用效率偏低。

通过前面的分析发现,20 万人口规模以上的城市,结构效应和技术效应都表现出抑制工业能源消费增长的作用;随着城市人口规模的减少,其节能作用表现越显著。即大中城市的表现优于特大城市,而后者又优于超大城市。20 万人口规模以下的小城市,重工业化的产业结构调整和低效的能源利用方式导致工业能源消费量大幅度增长。其中,20~50 万人口规模的城市具有最佳的规模效益,即产业结构调整和技术进步力度与经济发展速度最匹配,没有导致工业能源消费量的急剧增长。超过这一人口规模范围的城市,其结构效应和技术效应的节能作用随着偏离 20~50 万人口规模程度的增加而减弱。但是,50 万人口以上的城市的结构效应和技术效应节能作用要好于 20 万人口以下的城市。

值得一提的是,虽然超大规模城市结构效应和技术效应节能作用没有中等城市显著,但城市工业能源利用效率已经处于较高水平,人口和工业经济规模持续扩张不一定导致城市工业能源消费持续增长,北京是典型案例。1991~2007 年,北京市区非农业人口从 583.19 万增长为 901.96 万,工业增加值翻了九倍,工业能源消费却体现出集聚的规模效应。通过分解发现,技术效应对工业能源消费增长量的变化起着决定性作用(图 2)。1992~1993 年,北京能源消费量增长 $2817 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤,技术效应导致的能源增长量 $2745 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤,其贡献率高达 97.4%。其中电力蒸汽热水生产和供应业部门单位产值能耗从 1992 年的 5.85t 标准煤/ 10^4 元增加为 268.84t 标准煤/ 10^4 元,直接导致该部门增加能源消费 $2794 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤。1997~1998 年,北京能源消费增长量 $-2197 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤,技术效应导致的能源增长量 $-2557 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤。直接原因是石油加工及炼焦业部门单位产值能耗从 1997 年 505.99t 标准煤/ 10^4 元降低为 1998 年 20.03t 标准煤/ 10^4 元,该部门节约的能源消费量高达 $1206 \times 10^4 \text{ t}$ 标准煤。一个有意思的现象是,1991~1998 年间北京能源消费增长量正负交替出现,且起伏较大,而 1998 年以后能源消费趋于零增长。可以从三个角度来解释这一现象:第一,技术效应滞后于新产品生产周期。为了适应市场需求,工业部门需要不断引入新产品。产品生产初期,部门整体单位产值能耗升高,导致能源消费量显著增加。一段时间后,通过技术进步,部门整体单位产值能耗降低,逐渐体现出节能效应。第二,北京的科研优势和技术实力不容小觑,能在短时间内迅速降低部门

单位产值能耗。第三, 1991~1998 年工业单位产值能耗平均值高达 9.5t 标准煤/ 10^4 元, 各部门单位产值能耗均处于较高水平, 技术进步节能潜力很大。而 1999~2007 年工业单位产值能耗平均值已降低至 2.79t 标准煤/ 10^4 元, 技术节能空间急剧萎缩。这时即使引入新产品生产线, 能源消费量也不会表现出明显反复。考虑到北京发达的第三产业, 不难预测, 其整体产业结构调整和技术进步的节能效应更加显著。

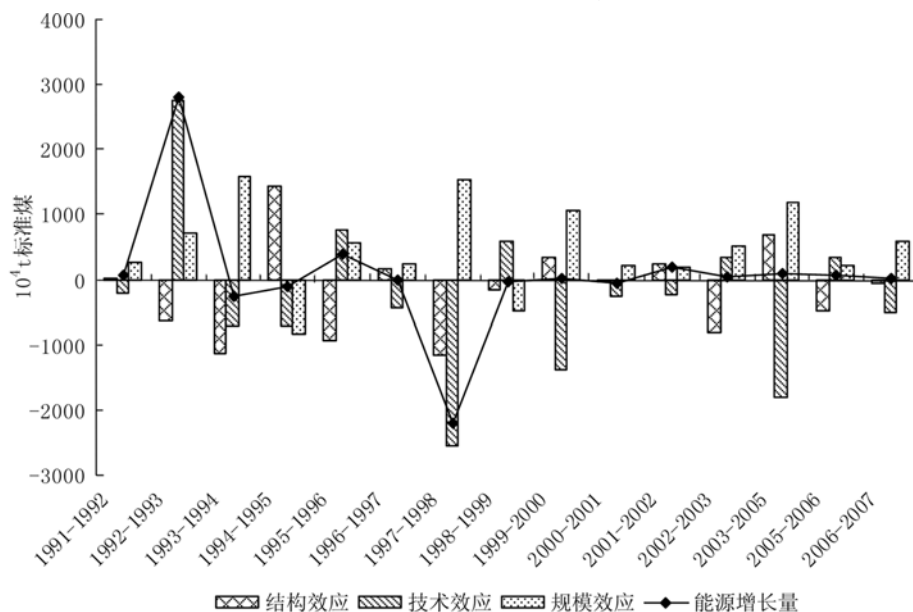


图 2 北京工业能源消费的分解 (1991~2007)

Fig. 2 Decomposition of industrial energy consumption in Beijing (1991—2007)

5 结论

(1) 2001~2006 年, 中国重工业化程度的加深引致了新一轮的工业能源消费的高速增长。在工业部门中, 消费能源较多的产业是冶金工业、化学工业、建材工业等一些原材料型的部门。

(2) 整体而言, 规模效应是导致城市工业能源消费增长的主导因素, 技术进步是抑制能源消费增长的重要手段, 结构效应表现不显著。

(3) 用单位产值能耗指标衡量, 超大规模城市平均能源利用效率最高, 其余规模组城市能源利用效率均处于较低水平。

(4) 通过分解 99 个样本城市 2001~2006 年工业能源消费变化量发现, 20~50 万人口规模的中等城市具有最显著的结构效应、技术效应和规模效应。超过这一人口规模范围的城市, 结构效应和技术效应的节能作用随着偏离 20~50 万人口规模程度的增加而减弱。但 50 万人口以上的城市的结构效应和技术效应节能作用要好于 20 万人口以下的城市。

(5) 对超大规模城市而言, 人口和工业经济扩张不一定导致工业能源消费持续增长和低效的能源利用, 关键是如何有效地发挥技术节能潜力。

参考文献:

- [1] 梁景文, 苗波. 能源问题下城市的可持续性. 世界环境, 2009, (1): 72~73.

- [2] 岑可法. 中国能源与环境可持续发展的若干问题. 中国废钢铁, 2006, (2): 4~13.
- [3] 雷仲敏. 中国城市能源发展现状与结构优化对策. 城市, 2008, (11): 59~65.
- [4] 郑洪强, 倪维斗, 李政. 中国城市能源利用现状和政策分析. 中国能源, 2003, 25(4): 13~17.
- [5] 沈清基. 中国城市能源可持续发展研究: 一种城市规划的视角. 城市规划学刊, 2005, (6): 41~47.
- [6] 罗乐勤. 我国城市能源安全分析. 城市问题, 2003, (4): 77~79.
- [7] 洪亮平. 城市能源战略与城市规划. 太阳能, 2006, (1): 13~17.
- [8] 周宏春, 鲍云樵, 渠时远. 我国城市能源与环境. 经济参考研究, 2008, (25): 19~25.
- [9] Jenks M, Burton E, Williams K. The Compact city: A Sustainable Urban Form? London: E & FN Spon, 1996. 25~26.
- [10] Mindali O, Raveh A, Salomon I. Urban density and energy consumption: A new look at old statistics. Transportation Research Part A, 2004, 38(2): 143~162.
- [11] Mogridge M J H. Transport, land use and energy interaction. Urban Studies, 1985, 22(6): 481~492.
- [12] Holden E. Ecological footprints and sustainable urban form. Journal of Housing and the Built Environment, 2004, 19(1): 91~109.
- [13] Kikegawa Y, Genchi Y, Kondo H, *et al.* Impacts of city-block-scale countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air-conditioning. Applied Energy, 2006, 83(6): 649~668.
- [14] Kondo H, Genchi Y, Kikegawa Y, *et al.* Development of a multi-layer urban canopy model for the analysis of energy consumption in a big city: Structure of the urban canopy model and its basic performance. Boundary-Layer Meteorology, 2005, 116(3): 395~421.
- [15] Sari R, Soytas U. Are global warming and economic growth compatible? Evidence from five OPEC countries? Applied Energy, 2009, 86(10): 1887~1893.
- [16] Droege P. Urban life in an age of fossil fuel depletion and climate change. Bulletin of Science, Technology & Society, 2002, 22(2): 87~99.
- [17] Ang B W. Decomposition of industrial energy consumption: The energy coefficient approach. Energy Economics, 1996, 18(1-2): 129~143.
- [18] Choi Ki-Hong, Ang B W. Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: Ratio and difference. Energy Economics, 2003, 25(6): 615~624.
- [19] Liu F L, Ang B W. Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry. Applied Energy, 2003, 76(1-3): 15~23.
- [20] Ang B W. Decomposition analysis for policymaking in energy: Which is the preferred method? Energy Policy, 2004, 32(9): 1131~1139.
- [21] Sun J W, Ang B W. Some properties of an exact energy decomposition model. Energy, 2000, 25(12): 1177~1188.
- [22] Ang B W. The LMDI approach to decomposition analysis: A practical guide. Energy Policy, 2006, 33(7): 867~871.
- [23] Ang B W, Liu Na. Energy decomposition analysis: IEA model versus other methods. Energy Policy, 2007, 35(3): 1426~1432.
- [24] 孙鹏, 顾晓薇, 刘敬智, 王青. 中国能源消费的分解分析. 资源科学, 2005, 27(5): 15~19.
- [25] 梁进社, 郑蔚, 蔡建明. 中国能源消费增长的分解——基于投入产出方法. 自然资源学报, 2007, 22(6): 853~864.
- [26] 梁进社, 洪丽璇, 蔡建明. 中国城市化过程中的能源消费增长——基于分解的 1985~2006 年间时序比较. 自然资源学报, 2009, 24(1): 20~29.
- [27] Ediger V S, Huvaz O. Examining the sectoral energy use in Turkish economy (1980~2000) with the help of decomposition analysis. Energy Conversion and Management, 2006, 47(6): 732~745.
- [28] Michiel de Nooij, Rene van der Kruk, Daan P van Soest. International comparison of domestic energy consumption. Energy Economics, 2003, (25): 359~373.
- [29] 周天洪. 北京能源消费结构与发达国家对比分析. 北京规划建设, 2002, (2): 41~44.
- [30] 张宏武. 中国的经济发展与能源和环境问题——多部门、分地区的经济分析. 北京: 气象出版社, 2006. 18.
- [31] 蒲英霞, 马荣华, 马晓东, 等. 长江三角洲地区城市规模分布的时空演变特征. 地理研究, 2009, 28(1): 161~172.
- [32] 国家统计局城市社会经济调查总队编. 中国城市统计年鉴(1985~2006). 北京: 中国统计出版社, 1985~2006.
- [33] 刘云刚. 中国资源型城市的职能分类与演化特征. 地理研究, 2009, 28(1): 153~160.

Growths of industrial energy consumption in China's prefecture-level cities: Based on the data in 2001—2006

HONG Li-xuan¹, LIANG Jin-she², CAI Jian-ming³, ZHUANG Li²

(1. Department of Development and Planning, Aalborg University, Aalborg 9220, Denmark;

2. School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

3. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Since the 1980s, industrial energy has always been dominating the nation's total energy consumption. Statistics show that the trend has been strengthened by further industrialization of cities during the past 30 years. Hence, this paper aims to explore the interrelationships between industrial energy consumption and urban development, and finds an efficient mode for urban development from the perspective of energy consumption. A simple and practical method of energy decomposition analysis is proposed in this paper. The changes of industrial energy consumption are decomposed into industrial structure effect, technological effect and economic scale effect. Based on available data from statistical yearbooks, 99 prefecture-level cities of China are chosen as samples and the period spans from 2001 to 2006. The results show that the growing weight of heavy industry, such as metallurgical, chemical and building material industries, has led to a new round of industrial energy consumption growth during this period. Expanding economic scale of cities is the major factor for the sharp increase of industrial energy consumption. The advancement of technology has effectively suppressed industrial energy demands in cities, while the industrial restructuring has little impact on the changes of industrial energy consumption. It is also indicated that cities with the population size of 20—50 million have the most effective industrial structure effect, technological effect and economic scale effect. As the deviation from the population size of 20—50 million increases, cities have less efficient industrial structure effect and technological effect for energy conservation. But increasing growths of population size and industrial economy will not definitely lead to sharp growths of industrial energy consumption and low efficiency of energy utility, which largely depends on the energy-saving effect of technological potential. Taking Beijing as an example, its high speeds of industrial and population increases in 1999—2007 were sustained by fast technical progresses and thus nearly zero growth of industrial energy consumption. On the other hand, industrial energy consumption per industrial added value is used as a complementary parameter to reflect the difference of energy efficiency among various scales of cities. It is suggested that cities with the population size above 200 million perform much higher energy efficiency than smaller cities. However, one cannot ignore individual differences among cities; they might perform quite differently on the efficiency of industrial energy consumption even in the same population size.

Key words: city; industrial energy consumption; decomposition